[Dall' Istituto di Patologia Generale della R. Università di Napoli
diretto dal prof. G. Galeotti].

SULLA FUNZIONE DEI MUSCOLI DEGENERATI.

IV^a Comunicazione.

(*Sulla elasticità dei muscoli, normali e degenerati*).

(Con 2 tavole).

Dott. GUIDO GUERRINI
libero docente in patologia generale.

Estratto dallo Sperimentale (Archivio di Biologia normale e patologica)
Anno LX - Fasc. IV — Luglio-Agosto, 1906.

[Dall' Istituto di Patologia Generale della R. Università di Napoli diretto dal prof. G. Galeotti].

SULLA FUNZIONE DEI MUSCOLI DEGENERATI.

IVa Comunicazione.

(*Sulla elasticità dei muscoli, normali e degenerati*).

(Con 2 tavole).

Dott. GUIDO GUERRINI
LIBERO DOCENTE IN PATOLOGIA GENERALE.

A. Data la complessa costituzione del muscolo, dato il variare della costituzione col variare della funzionalità, dato che il muscolo, sopra tutto, non è un corpo per sua natura *isotropo*, non si può parlare di elasticità muscolare nel senso preciso di un fenomeno fisico. Nè tanto meno si possono cercare nel fenomeno dell' elasticità muscolare quelle costanti: *coefficiente* e *modulo* che rappresentano l' elasticità di un corpo omogeneo ed inerte.

Già il *v. Kries* aveva dimostrato che la elasticità di un muscolo non può avere il significato di una costante fisica.

Un muscolo vivente, sottoposto a trazione non può essere considerato come, ad esempio, un filo metallico. Nel muscolo persiste per lungo tempo un certo grado di attività metabolica per cui si consumano materiali anabolici e si accumulano sostanze cataboliche (*Gotschlich, Heidenhein*); di più l'azione meccanica determinata dal peso è uno stimolo per la fibra muscolare (*Richet*, *Rossbach*, *Blix*, *Wedensky, Schenck*, *Van Anrep, Benedicenti*, *Fick*, *Place*, *Heidenhein*, *Santesson*, ecc.). La trazione determinata dal peso è uno stimolo per la contrazione. Perciò si hanno in antagonismo l' azione fisica della gravità, per cui il muscolo

tende ad allungarsi, e l'azione biologica della contrazione per cui il muscolo tende a raccorciarsi.

I fenomeni dell'elasticità muscolare non si potrebbero, quindi, studiare che in muscoli privi della proprietà di contrarsi. Il che non sempre è stato fatto.

La sezione del nervo, la curarizzazione, l'esperimento a temperatura bassa, come usò qualcuno, possono togliere al fenomeno la compartecipazione dell' elemento nervoso, ma non possono essere sufficienti a portare il fenomeno dell' elasticità muscolare entro il campo di un fenomeno fisico.

E che nel fenomeno dell' elasticità muscolare, presa questa nel senso il più lato, possa entrare l' elemento vitale è confortato per via indiretta da un doppio ordine di fatti: che, ogni altra condizione identica, il muscolo morto e il muscolo vivo e il muscolo in riposo e il muscolo contratto (contrazione *tonica*) non si comportano allo stesso modo quando sottoposti alla trazione di un peso.

Ciò non pertanto l'elasticità muscolare è stata studiata ripetutamente in condizioni fisiologiche e in condizioni fisiopatologiche.

E l'argomento è assai importante. Per la parte che l' elasticità muscolare ha nella contrazione muscolare singola (per la fusione delle scosse) e nella funzione muscolare *in toto*, (per l'azione dei muscoli antagonisti, per il *tono*, ecc. ecc.).

Sono stati impiegati nella ricerca metodi tecnici i più diversi. Il *Weber*, il *Du Bois Reymond*, lo *Chauveau*, il *Laulanié* impiegarono metodi così detti ottici. Il *Volkmann*, il *Wittich*, il *Blix*, il *Brodie* impiegarono, invece, metodi grafici.

Il *Blix*, il *Brodie*, il *Bergogné*, il *Nicolaides* costruirono anche apparecchi per quest'ordine di ricerche.

Ma il resultato degli esperimenti non è stato sempre concorde. Secondo il *Weber* l' elasticità del muscolo è una elasticità quasi completa. Secondo il *Blix* (muscoli adduttori, coscia della rana) un muscolo disteso rapidamente può tornare, dopo alcune oscillazioni, alla propria lunghezza iniziale. Ma il limite massimo dell'elasticità muscolare è facilmente sorpassato. Un gastrocnemio di rana normale dopo una carica di 50 grammi si deforma stabilmente e non torna alla lunghezza di prima.

Il fenomeno fu confermato dall'*Hermann*. Il *Donders* aggiunse che il muscolo normale ed il muscolo curarizzato hanno formule di elasticità diverse: il *Wundt* che il peso capace di raddoppiare in lunghezza una massa di muscolo di 1 mmq. è = gr. 273,4; che il *coefficiente dell' elasticità* muscolare è: 0,094 per il muscolo vivo e 0,157 per il muscolo morto.

Secondo alcuni, molti veleni avrebbero influenza sull' elasticità muscolare (*Rossbach*, *v. Anrep*). Il tannino, per esempio, l'aumenterebbe e perfezionerebbe.

Molti hanno distinto nell' elasticità muscolare una *estensibilità* ed una *retrattilità* e suddistinto l' una e l' altra in *immediata* e *complementare*. È noto, infatti, che se a un capo di un muscolo si sospende un certo peso, il muscolo si allunga prima rapidamente (*estensibilità immediata*) poi, lentamente (*estensibilità complementare*). E, analogamente, che tolto il peso, il muscolo si accorcia prima rapidamente (*retrattilità immediata*) poi, lentamente (*retrattilità complementare*). Ma la *retrattilità* non riporta il muscolo alla propria lunghezza iniziale. La trazione induce sempre un certo grado di deformazione stabile che si può chiamare *allungamento residuo* ed è espresso dalla differenza fra l' *estensibilità* e la *retrattilità*.

In altre parole l' elasticità muscolare sarebbe un caso di elasticità incompleta.

La *estensibilità* e la *retrattilità* furono anche studiate separatamente.

E si vide che gli allungamenti muscolari non sono esattamente proporzionali al peso e che l' allungamento diminuisce da prima rapido poi lentamente, per cui la curva dell' elasticità muscolare anzichè una retta sarebbe una iperbole (*Wertheim*).

Nei muscoli di rana e nei muscoli di topo (*Blix, Brodie*) l' allungamento, entro certi limiti, può decrescere con l' aumento del peso. Nei muscoli dell' uomo (*Mosso, Benedicenti*) può accadere il fatto opposto, benchè intervengano oscillazioni di *estensibilità* e di *retrattilità* sincrone con i movimenti del respiro e differenze individuali tipiche che si mantengono persistentemente.

Sottoponendo un muscolo morto alla trazione di pesi crescenti gli allungamenti progressivamente decrescono.

A parità di peso il muscolo morto si allunga più del muscolo vivo.

La temperatura influisce assai sul grado e la forma della estensibilità muscolare (*Schmulewitsch*, *Samkowy*, *Boudet*, *Moriggia*).

Il muscolo sartorio della rana riscaldato a + 30°C, + 32°C, presenta un accorciamento temporaneo che scompare col raffreddamento. Temperature più elevate provocano accorciamenti duraturi dovuti a un fenomeno di rigidità termica (*Gotschlich, Samkowy*).

Il *Malmström* aumentando la temperatura da + 2°C a + 25°C osservò un aumento dell' *estensibilità* che raggiunge il massimo rapidamente. Il *Benedicenti* osservò ancora che temperature di + 40°, + 41°C, diminuiscono l' *estensibilità* ed aumentano la *retrattilità*, che le temperature molto basse diminuiscono la *retrattilità* ed aumentano l' *estensibilità*, che la fatica rende il muscolo assai più estensibile del normale, che il sonno diminuisce l'*estensibilità* ed aumenta la *retrattilità*, che la rigidità cadaverica non altera, o aumenta, la *retrattilità* e diminuisce la *estensibilità* e che invece la lesione del nervo agisce ordinariamente in senso opposto.

Altri ha visto che l'arresto del circolo diminuisce l' *estensibilità*.

Come ho accennato già da principio, la elasticità muscolare non è la stessa nel muscolo in riposo e nel muscolo contratto.

Secondo il *Weber* il muscolo contratto è meno elastico e più estensibile e caricando un muscolo in riposo con un peso considerevole e facendolo contrarre, il muscolo si allunga anzichè raccorciarsi.

Questo che è detto *paradosso del Weber* accadrebbe secondo l' A. perchè l' accorciamento determinato dalla contrazione muscolare non compenserebbe l' allungamento dovuto a una diminuzione di elasticità. Ma perchè il fenomeno compaia meglio occorre che il muscolo sia affaticato.

Il così detto *paradosso del Weber* ammesso da alcuni (*Richet*, *De Varigny*) è negato da altri (*Marey*, *Rouxeau*) ed è nota la controversia a questo proposito fra il *Weber* e il *Volkmann*.

Per il *Wundt* la diminuzione dell' elasticità di un muscolo in

contrazione non è dovuta all' attività muscolare ma soltanto all' accorciamento. Infatti se si impedisce l' accorciamento del muscolo caricandolo di un sopra carico, l'eccitazione non è più capace di determinare l'allungamento.

Il *Donders* e il *Van Mansvelt* sperimentando sui muscoli flessori dell' avambraccio (bicipite e brachiale anteriore, uomo) contraddissero alle idee del *Wéber*. Invece, il *Blix* giunse a resultati che parrebbero una conferma.

Lo *Chauveau*, studiando il fenomeno sui muscoli dell'uomo in contrazione volontaria, concluse che l'allungamento dei muscoli in contrazione è direttamente proporzionale con il carico addizionale e inversamente proporzionale con il carico equilibrato.

Lo *Schenck* notò, invece, che all' iniziarsi della contrazione la *estensibilità* del muscolo diminuisce (da 1 a 0,30-0,57); che la *estensibilità* aumenta con l' accorciamento, che nel massimo dell' accorciamento tetanico l' *estensibilità* è considerevolmente minore che nel massimo dell'accorciamento provocato da una scossa semplice. Ma l' accorciamento muscolare provocato da una scossa semplice è minore di quello tetanico. Ciò parrebbe, dunque, contraddire che un aumento di accorciamento induca un aumento di *estensibilitá* (*Wund*).

Il *Benedicenti* avrebbe osservato che la contrazione volontaria del muscolo diminuisce l' *estensibilità*.

Ma il comportamento dell' elasticità muscolare in rapporto con la contrazione si riannoda direttamente con un' altra proprietà del muscolo : con la così detta *tonicità*.

Il *Mosso*, anzi, ha suggerito di fondere nel solo concetto di *tonicità* i due concetti rispettivi di *tonicità* e di *elasticità*. Ma vero è che i due fenomeni hanno significato differente. La elasticità è un fenomeno fisico, la *tonicità* è piuttosto un fatto biologico, benchè alcuni fenomeni interpretati nel muscolo come dipendenti della tonicità siano stati anche osservati in varie specie di materia inerte, dal *Mosso* per esempio nel caoutchouc e nel sughero e dal *Blix* in una spira metallica immersa in un liquido molto denso.

Nella *tonicità* nel senso del *Mosso* ha la sua parte l' elasticità, allo stesso modo che nell'elasticità muscolare, intesa questa in senso lato, ha la sua parte la *tonicità*.

Si dovrebbe, anzi, per converso, dire che perchè mutazioni di *estensibilità* e mutazioni di *retrattilità* possano esprimere in qualche modo una mutazione di elasticità bisognerebbe potere escludere ogni influenza della *tonicità*.

Così il *Rossbach* ed il *van Anrep* ritengono che non si possa parlare di elasticità se non quando il muscolo sia sottratto ad ogni influenza del sistema nervoso. Ma l' esperimento ha dimostrato che anche in muscoli in cui manchi ogni traccia di elemento nervoso si possono avere, entro certi limiti, persistenti oscillazioni di *tono*.

In base alla minuta struttura del muscolo si è anche tentato di localizzare in diverse parti di esso la elasticità e la tonicità.

La sostanza *anisotropa* sarebbe tonica: la sostanza *isotropa* sarebbe elastica. La prima trasmetterebbe gli effetti motori per l' intermedianza della seconda (*Doyon*).

Secondo il *Rossbach* e il *van Anrep*, alcuni veleni (cocaina, curaro) agirebbero sul *tono*, e non agirebbero sulla elasticità: altri invece (veratrina, digitale) agirebbero sulla elasticità e non agirebbero quasi affatto sul *tono*.

E basti questo per dimostrare come il fenomeno dell'elasticità, già così complesso per il fisico, lo divenga ancora più per le ricerche del biologo. E deliberatamente non mi sono occupato che della sola elasticità di trazione, benchè anche ad esempio la elasticità di torsione sia stata studiata nel muscolo (*Weber*, *Keiser*, *Schenck*).

B. Ma se per le ragioni dette sopra non si può parlare di elasticità muscolare nel senso preciso di un fenomeno fisico, si può parlare di elasticità del muscolo in un senso più generico, cioè di un corpo che deformato tende a tornare alla forma primitiva.

Questa elasticità, come ho detto sopra, è sempre un caso di *elasticità incompleta*, cioè il muscolo una volta disteso non ritorna alla sua lunghezza iniziale.

Ma anche intesa in questo senso generico l' elasticità del muscolo è argomento importante in fisiologia e in patologia.

E se anche non si può rappresentare la elasticità per mezzo di costanti, si possono fare confronti utili fra muscoli e muscoli

in diverso stato di funzione o di struttura, purchè si mantengano inalterate le condizioni sperimentali.

Ciò che allora serve per raffronto sono le curve che si possono costruire riportando sull'ascissa il tempo e sulle ordinate le variazioni di lunghezza del muscolo, sotto l'azione del peso di carica e dopo che il peso è stato levato.

Queste curve che per semplice comodo di espressione si possono chiamare *curve di elasticità* sono, per le ragioni sopra dette, le risultanti di fattori fisici e di fattori biologici.

Perciò occorre innanzi tutto interpretare il significato dei varî tratti che le compongono poichè esse evidentemente non sono continue.

Consideriamo le curve di un muscolo normale (figura I della Tavola I).

1. Appena applicato il peso di carica si ha un allungamento immediato rapido (tratto a, b della curva — *estensibilità immediata*) che raggiunge approssimativamente il 59 °/₀ dell'allungamento complessivo e dipende dal fatto fisico della trazione per gravità.

2. In un secondo periodo di tempo il muscolo continua ancora a distendersi; ma gradatamente, in modo uniforme e continuo. Questo allungamento (tratto b, c della curva — *estensibilità complementare*) rappresenta il 41 °/₀ dell'allungamento complessivo ed in esso hanno gran parte i fattori biologici, come credo di aver dimostrato con esperienze che esporrò più avanti.

Anche la durata dell'*estensibilità* complementare espressa dal segmento c, d segnato ha un significato biologico che non deve essere trascurato.

3. Tolto il peso nel momento e il muscolo si raccorcia rapidamente (tratto e, f — *retrattilità immediata*). Anche questo probabilmente è in prevalenza un fenomeno fisico.

4. Poi, il muscolo si raccorcia ancora per la durata del tratto f, g (*retrattilità complementare*). L'accorciamento è regolare e procede in maniera continua.

Esso dipende in gran parte da fattori biologici. Anche la durata del tratto g, h corrisponde probabilmente a condizioni vitali del muscolo.

5. Resta infine da considerare il tratto *g, k (allungamento residuo)*. Esso rappresenta la deformazione persistente subita dal muscolo sotto la trazione del peso.

L' elasticità del muscolo, come ho detto più sopra, è sempre un caso di elasticità incompleta.

Ora, appunto, l'*allungamento residuo* è l'indice del grado dell'elasticità. Quando l'allungamento residuo è = 0 si ha *elasticità completa:* quando l'allungamento residuo e l'estensibilità totale si equivalgono in valore si ha invece *anelasticità completa.*

* * *

C. Per la costruzione della curva ho sperimentato come segue:

Disposto l'esperimento nel modo che dirò, sottoponevo il muscolo alla trazione, seguivo l'*estensibilità* sino al punto massimale *(estensibilità immediata* e *complementare)* e dopo 15' da che l'*estensibilità* aveva raggiunto il termine, scaricavo il peso e seguivo in senso inverso, il decorso della *retrattilità (immediata* e *complementare).* Dalla differenza fra la *retrattilità* e l'*estensibilità* calcolate *in toto* deducevo, volta per volta, il valore dell'*allungamento residuo.*

Il peso di carica non ha mai variato durante il corso dell'esperimento, per evitare la influenza nota della *formula di deformazione* sul decorso dell'elasticità.

L' apparecchio di cui mi sono giovato era costituito nel modo che segue.

Una leggera asticella metallica era bilanciata in equilibrio orizzontale su due punte. Un capo dell' asticella a un lato del fulcro portava un indice leggerissimo e rigido della lunghezza di 370 mm. L'altro capo, a 10 mm. dal fulcro, portava due fori l'uno sull' altro sulla medesima verticale. Al foro superiore era connesso il muscolo con un filo di rame abbastanza grosso. Al foro inferiore era sospeso un piattello. Caricato questo sino all'equilibrio della leva (gr. 6,5) e portato il muscolo nelle condizioni opportune, aggiungevo il peso di carica che era costantemente di 50 grammi. L'allungamento del muscolo sottoposto a trazione e la retrazione del muscolo a trazione cessata erano segnate rispettivamente: da

un abbassamento e da un sollevamento della leva nella parte del muscolo, da un innalzamento e da un abbassamento proporzionali della leva dalla parte dell'indice. E poichè gli spostamenti dell'indice avvenivano su una scala graduata al millimetro, con un calcolo molto semplice si potevano ricavare i valori rispettivi della *estensibilità* e della *retrattilità.*

Dalla lunghezza del muscolo calcolata all'inizio dell'esperimento deducevo volta per volta il $^0/_0$ dalla *estensibilità*, della *retrattilità*, dell'*allungamento residuo.*

Il muscolo era tenuto in una camera umida con tutte le precauzioni sperimentali del caso. Il *coefficiente di elasticità* del filo di rame di connessione è per un peso di 50 grammi abbastanza piccolo per trascurarlo. In ogni modo il filo usato era sempre dello stesso spessore ($^8/_{10}$ di mm.) e della stessa lunghezza (15 mm.).

Ho sperimentato sul gastrocnemio di rana perchè questo è il muscolo che mi ha servito per tutte le ricerche già pubblicate sulla funzione dei muscoli degenerati ed a me, appunto, interessava lo studio più che tutto per acquisire un fatto che concorresse a interpretare le turbe funzionali dei muscoli degenerati.

Tolgo dal protocollo delle esperienze:

I. Esperimenti su muscoli normali. Temperatura media dell'ambiente + 22°.2 C. *Rane curarizzate.*

Rana I, femmina, peso gr. 28, gastrocnemio destro, lunghezza in mm. 30.

Rana II, femmina, peso gr. 27, gastrocnemio sinistro, lunghezza in mm. 30.

Rana III, femmina, peso gr. 28, gastrocnemio destro, lunghezza in mm. 29.

Rana IV, maschio, peso gr. 25, gastroenemio sinistro, lunghezza in mm. 31.

Rana V, femmina, peso gr. 28, gastroenemio destro, lunghezza in mm. 30.

Resultato delle misure :

Tabella I.

Esperimento			I	II	III	IV	V
Estensibilità	Totale	mis.	0.622	0.629	0.662	0.641	0.627
		°/o	2.066	2.096	2.282	2.210	2.090
	Residuo	mis.	0.432	0 405	0.405	0.364	0.334
		°/o	1.440	1.350	1.396	1 255	1.113
	Complem.	mis.	0.190	0 224	0.257	0.277	0.293
		°/o	0.626	0.746	0.886	0.955	0.877
		dur.	65′	65′	65′	60′	60′
Retrattilità	Totale	mis.	0.551	0.570	0.618	0.524	0.554
		°/o	1.836	1.900	2,131	1.806	1.846
	Immed.	mis.	0.443	0.502	0.524	0.443	0.440
		°/o	1.476	1.673	1.805	1.527	1.466
	Complem.	mis.	0.108	0.068	0.074	0.081	0.114
		°/o	0.350	0.227	0.326	0.279	0.380
		dur.	25′	35′	35′	30′	35′
Allungam.		mis.	0.071	0.059	0.054	0.117	0.073
Residuo ..		°/o	0.230	0.196	0.151	0.404	0.244

Con i dati dell' esperimento V è costruita la curva I dalla Tavola I.

*
* *

D. A proposito di quanto ho detto al n. 2 del cap. B bisogna osservare quanto segue: Se l' applicazione di un peso ad un

muscolo rappresenta un certo stimolo per cui il muscolo si contragga (*Richet, Rossbach, Blix, Wedensky, Schenck, van Anrep, Benedicenti, Fick, Santesson, Place, Heidenhein*) i valori del tratto *c, d* della *curva di elasticità* risulterebbero da un antagonismo fra la contrazione che accorcierebbe il muscolo e la trazione che lo allungherebbe.

La supposizione teoretica è suscettibile abbastanza bene di una prova sperimentale. E a questo fine sono state eseguite le ricerche sotto riassunte.

Se la durata della *estensibilità complementare* è in rapporto con la *contrattilità*, nelle *curve di elasticità* dei muscoli sottoposti all' azione di narcotici o preventivamente affaticati si dovrebbe avere, evidentemente, una minor durata del tratto *b, c* (*estensibilità complementare*).

Ed ecco il risultato delle esperienze:

II. Esperimenti sotto l'azione del cloroformio: temperatura + 22°.2 C. *Rane curarizzate.*

Rana XII, femmina, peso gr. 28, gastrocnemio destro, lunghezza mm. 30.

Rana XIII, femmina, peso gr. 27, gastrocnemio destro, lunghezza mm. 30.

Rana XIV, femmina, peso gr. 27, gastrocnemio sinistro, lunghezza mm. 29.

Rana XV, femmina, peso gr. 28, gastrocnemio sinistro, lunghezza mm. 30.

Resultato delle misure:

TABELLA II.

Esperimento			XII	XIII	XIV	XV
Estensibilità	Totale	mis. °/o	0. 654 2. 146	0. 689 2. 296	0. 705 2. 350	0. 743 2. 476
	Immed.	mis. °/o	0. 630 2 066	0. 662 2. 206	0. 670 2. 239	0. 709 2. 442
	Complem.	mis. °/o dur.	0. 024 0. 080 15′	0. 027 0. 090 15′	0. 035 0. 011 10′	0. 034 0. 046 15′

III. Esperimenti sotto l'azione dell'etere. Temperatura + 22°.2 C. *Rane curarizzate.*

Rana XVI, femmina, peso gr. 28, gastrocnemio destro, lunghezza mm. 30.

Rana XVII, femmina, peso gr. 27, gastrocnemio sinistro, lunghezza mm. 29.

Rana XVIII, maschio, peso gr. 23, gastrocnemio sinistro, lunghezza mm. 26.

Resultato delle misure :

TABELLA III.

Esperimento			XVI	XVII	XVIII
Estensibilità	Totale	mis.	0.675	0.729	0.727
		°/o	2.250	2.490	2.423
	Immed.	mis.	0.662	0.702	0.703
		°/o	2.207	2.400	2.343
	Complem.	mis.	0.013	0.027	0.024
		°/o	0.043	0.090	0.080
		dur.	10′	15′	15′

IV. Esperimenti su muscoli affaticati. I muscoli prima di essere sottoposti alla prova dell'elasticità erano tetanizzati per 10′ sotto carica di 50 gr. Temperatura media + 22°.2 C. *Rane curarizzate.*

Rana XIX, femmina, peso gr. 27, gastrocnemio destro, lunghezza mm. 30.

Rana XX, maschio, peso gr. 23, gastrocnemio destro, lunghezza mm. 28.

Rana XXI, femmina, peso gr. 28, gastrocnemio sinistro, lunghezza mm. 30.

Rana XXII, femmina, peso gr. 28, gastrocnemio destro. lunghezza m. 29.

Resultato delle misure :

Tabella IV.

Esperimento			XIX	XX	XXI	XXII
Estensibilità	Totale	mis.	0.708	0.684	0.695	0.678
		°/o	2.360	2.246	2.316	2.260
	Immed.	mis.	0.663	0 639	0 633	0.623
		°/o	2.210	2 096	2.110	2.110
	Complem.	mis.	0.045	0.045	0.062	0.055
		°/o	0.150	0.150	0.206	0.150
		dur.	15′	10′	10′	15′

E riassumendo, comparativamente con i muscoli normali, i risultati degli esperimenti dei gruppi II, III, IV, si ha:

Tabella V.

Esperimento			mm. norm.	clorof.	etere	mm. affat.
Estensibilità	Totale	mis.	0.642	0.698	0.702	0.693
		°/o	2.174	2.311	2.370	2.300
	Immed.	mis.	0.383	0.669	0.682	0.643
		°/o	1.276	2 254	2.303	2.153
	Complem.	mis.	0.241	0 029	0.020	0.053
		°/o	0.791	0.045	0.066	0.178
		dur.	62′	12′	12′	12′

L' ipotesi sopra enunciata è dunque confermata dall' esperimento. I valori del tratto *c, d* della *curva di elasticità* sono, dunque, il risultato di un antagonismo fra la contrazione che accorcia il muscolo e la trazione che tende ad allungarlo.

Dato l' intervento dell' elemento vitale nel fenomeno dell' elasticità muscolare, altri fatti inerenti a questa possono, allora, essere spiegati: perchè il muscolo curarizzato ed il muscolo normale abbiano diversa elasticità (*Donders*); perchè la linea dell' estensibilità muscolare sia una iperbole anzichè una retta (*Wertheim*); perchè l' allungamento entro certi limiti possa diminuire con l'aumentare del peso (*Blix, Brodie)*; perchè il muscolo sia più estensibile alla fine della contrazione (*Schenk*); perchè la contrazione volontaria diminuisca l' estensibilità (*Benedicenti*); perchè la temperatura influisca così sopra il grado dell' estensibilità muscolare (*Schmulewitsch, Samkowy, Boudet, Moriggia*).

Anche il così detto *paradosso del Weber* potrebbe forse esserne alquanto chiarito. È noto, infatti, come esso avvenga meglio nei muscoli affaticati.

Nelle Tavole sono riprodotte le curve degli esperimenti XIV, XVIII e XIX.

*
* *

E. Come conseguenza di quanto sopra, il muscolo normale dopo tolto il peso (punto *e*) si trova, in uno stato di considerevole affaticamento. Perciò il *tono* (che se anche non nella parte precipua voluta dal *Mosso* deve pure essere considerato quando si parli di deformazione) sarebbe in tal caso molto basso. Ma tolta la causa che affatica il muscolo, il *tono* potrebbe tendere a ristabilirsi. Il tratto *f, h* potrebbe dunque essere l'esponente di questo fatto.

In tal maniera il tratto *f, h* rappresenterebbe il ritorno del *tono:* il tratto *f, g* la capacità del restauro e il tratto *g, h* il tempo necessario perchè questo avvenga.

Ma anche questa ipotesi può avere una prova sperimentale. Al qual fine ho istituito le ricerche sotto riassunte:

V. Disposto l'esperimento come di norma, ho fissato sulla leva, dalla parte ove era connesso il muscolo, una penna lunga e leggera. La punta della penna rispondeva al tamburo di un chimografo.

Dopo tolto il peso di carica (fine del tratto *e, f* della curva) provocavo una contrazione del muscolo con un colpo di corrente indotta usando uno stimolo sovramassimale. Cessata la *retrattilità complementare* (fine del tratto *f, h* della curva) provocavo una seconda scossa.

Poichè lo stimolo sovramassimale permette di escludere l'influenza di una mutazione di eccitabilità, se veramente il tratto *f, h* corrisponde ad un restauro, a parità di condizioni la scossa in *h*, deve essere più alta che la scossa in *f*.

Tolgo dal protocollo delle esperienze:

Rana XXIII, femmina, peso gr. 28, gastrocnemio destro, lunghezza mm. 30, estensibilità totale 0,629, retrattilità totale 0,585, immediata 0,415, complementare 0,170.

Rana XXIV, femmina, peso gr. 27, gastrocnemio sinistro, lunghezza mm. 29, estensibilità totale 0,659, retrattilità totale 0,535, immediata 0,501, complementare 0,034.

Rana XXV, maschio, peso gr. 22, gastrocnemio destro, lunghezza mm. 27, estensibilità totale 0,639, retrattilità totale 0,559. immediata 0,415, complementare 0,144.

Rana XXVI, femmina, peso gr. 28, gastrocnemio sinistro, lunghezza mm. 30, estensibilità totale 0,628, retrattilità totale 0,550, immediata 0,430, complementare 0,120.

Rana XXVII, femmina, peso gr. 28, gastrocnemio destro, lunghezza mm. 29, estensibilità totale 0,641, retrattilità totale 0,525, immediata 0,442, complementare 0,083.

Rana XXVIII, maschio, peso gr. 25, gastrocnemio sinistro, lunghezza mm. 27, estensibilità totale 0,640, retrattilità totale 0,525, immediata 0,441, complementare 0,084.

Rana XXIX, femmina, peso gr. 28, gastrocnemio destro, lunghezza mm. 28, estensibilità totale 0,621, retrattilità totale 0,550, immediata 0,441, complementare 0,109.

Rana XXX, femmina, peso gr. 28, gastrocnemio sinistro, lunghezza mm. 29, estensibilità totale 0,661, retrattilità totale 0,570, immediata 0,498, complementare 0,072.

Rana XXXI, femmina, peso gr. 27, gastrocnemio destro, lunghezza mm. 28, estensibilità totale 0,675, retrattilità totale 0,566, immediata 0,484, complementare 0,082.

Altezza della scossa in millimetri:

Tabella VI.

Esperimento	Altezza della scossa alla fine della	
	estensib. immed.	estensib. complem.
XXIII	15	35
XXIV	37	48
XXV	11	34
XXVI	15	47
XXVII	15	44
XXVIII	12	49
XXIX	11	30
XXX	15	48
XXXI	17	38

Anche questa seconda ipotesi è stata, dunque, confermata dalla prova sperimentale.

* * *

F. Stabilito così il valore per ciascun segmento della curva sono passato, finalmente, alla ricerca dell'elasticità nei muscoli degenerati.

Per provocare la degenerazione ho ricorso al metodo solito delle istillazioni di soluzioni di Ph. (in olio di mandorle) nel sacco dorsale.

Tolgo dal protocollo delle esperienze.

VI. Esperimenti con muscoli in degenerazione grassa. Temperatura + 22°.2 C. *Rane curarizzate.*

Rana XXXII, femmina, peso gr. 28, gastrocnemio destro, lunghezza in mm. 30, quantità totale di Ph. istillata gr. 0,0012.

Rana XXXIII, femmina, peso gr. 27, gastrocnemio destro, lunghezza in mm. 30, quantità totale di Ph. istillata gr. 0,002.

Rana XXXIV, femmina, peso gr. 28, gastrocnemio destro, lunghezza in mm. 29, quantità totale di Ph. istillata gr. 0,003.

Rana XXXV, maschio, peso gr. 23, gastrocnemio sinistro, lunghezza in mm. 30, quantità totale di Ph. istillata gr. 0,004.

Rana XXXVI, femmina, peso gr. 28, gastrocnemio sinistro, lunghezza in mm. 30, quantità totale di Ph. istillata gr. 0,003.

Rana XXXVII, maschio, peso gr. 25, gastrocnemio destro, lunghezza in mm. 31, quantità totale di Ph. istillata gr. 0,003.

Riassunto delle misure.

TABELLA VII.

Esperimenti			XXXII	XXXIII	XXXIV	XXXV	XXXVI	XXXVII
Estensibilità	Totale	mis.	0. 648	0. 640	0. 672	0. 635	0. 645	0. 602
		°/o	2. 160	2. 133	2. 317	2. 116	2. 150	1. 941
	Immed.	mis.	0. 527	0. 554	0. 589	0. 575	0. 610	0. 518
		°/o	1. 756	1 846	2. 031	1. 916	2. 033	1. 670
	Complem.	mis.	0. 121	0. 086	0 083	0. 060	0. 035	0. 084
		°/o	0. 404	0. 287	0. 286	0. 200	0. 117	0. 271
		dur.	15′	15′	20′	15′	15′	20′
Retrattilità	Totale	mis.	0. 481	0. 481	0. 456	0. 456	0. 462	0. 448
		°/o	1. 603	1. 603	1. 572	1. 520	1. 540	1. 445
	Immed.	mis.	0. 443	0. 418	0. 391	0. 383	0. 408	0. 389
		°/o	1. 476	1. 393	1. 347	1. 243	1 360	1. 254
	Complem.	mis.	0. 038	0. 063	0. 065	0. 073	0. 054	0. 059
		°/o	0. 127	0. 210	0. 225	0. 287	0. 180	0. 191
		dur.	30′	25′	30′	25′	25′	25′
Allungam ..		mis.	0. 167	0. 159	0. 216	0. 179	0 183	0. 154
Residuo		°/o	0. 557	0. 530	0. 745	0. 596	0. 610	0. 496

La curva dell'esperimento XXXVI è riprodotta nella Tavola II.

Confrontando la misura delle *curve di elasticità* nei muscoli normali e nei degenerati si ottengono le quote seguenti :

TABELLA VIII.

			Muscoli normali		Muscoli degenerati	
			massimo	minimo	massimo	minimo
Estensibilità	Totale	mis.	0. 662	0. 622	0. 672	0. 602
		°/o	2. 282	2. 066	2. 317	1. 941
	Immed.	mis.	0. 432	0. 334	0. 610	0. 518
		°/o	1. 440	1 113	2. 033	1. 670
	Complem.	mis.	0. 293	0. 190	0. 121	0. 035
		°/o	0. 955	0. 626	0. 404	0. 117
		dur.	65′	60′	20′	15′
Retrattilità	Totale	mis.	0. 618	0. 524	0. 481	0. 448
		°/o	2. 131	1. 806	1. 603	1. 445
	Immed.	mis.	0. 524	0 440	0. 443	0. 383
		°/o	1. 805	1 466	1. 476	1. 243
	Complem.	mis.	0. 114	0. 068	0. 073	0. 038
		°/o	0. 380	0. 227	0. 287	0 127
		dur.	35′	25′	30′	25′
Allungam.. ...		mis.	0. 117	0. 054	0. 216	0. 154
Residuo		°/o	0. 404	0. 151	0. 745	0. 493

*
* *

G. E dall' esame delle tabelle risulta chiaramente quanto segue:

I. Che nei muscoli in degenerazione grassa e nei muscoli normali a parità di condizioni l' estensibilità totale *è press' a poco la stessa (muscoli normali: 0,641; muscoli degenerati: 0,637).*

II. Che nei muscoli in degenerazione grassa a parità di condizioni la estensibilità immediata *è considerevolmente aumentata (1 : 1,21).*

III. Che nei muscoli in degenerazione grassa la estensibilità complementare *è considerevolmente diminuita (1 : 0,32).*

IV. Che nei muscoli in degenerazione grassa, a parità di condizioni è diminuita la retrattilità, totale, immediata e complementare. (Retrattilità totale: *1:0,81;* retrattilità immediata *1:0,85;* retrattilità complementare 1 *: 0,60*).

V. Che nei muscoli in degenerazione grassa a parità di condizioni è aumentato l' allungamento residuo (1 : 2,17).

Ma tenendo conto di quanto sopra, circa i fattori che hanno parte nella *curva di elasticità*, si può dire qualcosa di più sulle variazioni e modificazioni riscontrate nei muscoli degenerati.

L' aumento riscontrato nell' *elasticità immediata* dipende dunque prevalentemente da modificazioni che subisce il muscolo in degenerazione grassa. Tra queste è notevole particolarmente l'aumento dell' acqua percentuale e la dimuzione delle sostanze solide [1].

L' aumento dell' acqua è certo a scapito della compattezza e della coesione del muscolo.

Ma anche l' aumento dell' *allungamento residuo* (che ci indica che l' elasticità è nel muscolo degenerato ancora più lontana dall' esser completa di quello che sia nel muscolo normale) dipende, forse, prevalentemente da queste modificazioni.

---

[1] L' *Hösslin* ad esempio ha riscontrato che l' acqua sale da 76.7 % a 77.1-80.7 % e che le sostanze solide diminuiscono da 22.3 % a 22.8-19.2 %.

La diminuzione e la minor durata della *estensibilità complementare* si debbono piuttosto considerare come dipendenti da una diminuita capacità contrattile del muscolo, onde questo reagisce meno e, comunque più brevemente, allo stimolo del peso.

Questo si accorda perfettamente con altri resultati sperimentali, i quali mi hanno dimostrato come il muscolo degenerato sia capace di minor lavoro e si stanchi più facilmente.

Anche la diminuzione della *retrattilità complementare* (la quale dipende dal *restauro* del muscolo dopo l'affaticamento prodotto dal peso) si spiega pure facilmente quando si consideri (come ho mostrato con altre ricerche) che nel muscolo degenerato la capacità al *restauro* è diminuita.

Appunti bibliografici.

Bergogné, Contribution à l'étude des propriétés physiques des muscles. Bordeaux, 1883.

Blix, Bidrag till äran om muskelelasticitäten. Upsala, 1874.

Boudet de Paris, De l'élasticité musculaire. (Th. de Paris, 1880).

Guerrini, Di una proprietà meccanica del muscolo che si può chiamare potenza. (Lo Sperimentale, 1906).

Heidenhein, Ueber eine die Muskelelasticität betreffende Frage. Berlin, 1856.

Jensen, Ueber die Aggregatzustand des Muskels und der lebendigen Substanz überhaupt. (Pflüger's, A. LXXX, s. 176).

Imbert, L'élasticité musculaire. (Arch. de physiol. norm. et pathol., 1897, pag. 296).

Marey, Rôle de l'élasticité dans la contraction musculaire.

Volkmann, Commentatio de elasticitate muscolorum, 1856.

Wundt, Ueber die Elasticität des organischen Gewebes. (Zeitschr. für rat. Med., VIII, 1859).

Spiegazione delle Tavole.

TAVOLA I.

I. *Curva dell'elasticità di un muscolo normale.* (Esperimento V) *a, b*, estensibilità immediata: *b, c*, estensibilità complementare: *c, d*, durata della estensibilità complementare: *e, f*, retrattilità immediata; *f, g*, retrattilità complementare; *g, h*, durata della retrattilità complementare; *g, k*, allungamento residuo.

II. A. *Curva dell'elasticità di un muscolo sotto l'azione del cloroformio.* (Esperimento XIV) *a, b*, estensibilità immediata; *b, c*, estensibilità complementare; *c, d*, durata dell'estensibilità complentare; *e, f*, retrattilità immediata; *f, g*, retrattilità complementare; *g, k*, allungamento residuo. B. *Curva dell'elasticità di un muscolo sotto l'azione dell'etere.* (Esperimento XVIII), *l, m*, estensibilità immediata; *m, n*, estensibilità complementare; *n, o*, durata dell'estensibilità complementare; *p, q*, retrattilità immediata; *q, r*, retrattilità complementare; *r, s*, durata della retrattilità complementare; *r, u*, allungamento residuo.

TAVOLA II.

III. *Curva dell'elasticità di un muscolo affaticato.* (Esperimento XIX) *a, b*, estensibilità immediata; *b, c*, estensibilità complementare: *c, d*, durata dell'estensibilità complementare; *e, f*, retrattilità immediata: *f, g*, retrattilità complementare; *g, h*, durata della retrattilità complementare; *g, k*, allungamento residuo.

IV. *Curva dell'elasticità di un muscolo in degenerazione grassa.* (Esperimento XXXVI) *a, b*, estensibilità immediata; *b, c*, estensibilità complementare; *c, d*, durata della estensibilità complementare; *e, f*, retrattilità immediata; *f, g*, retrattilità complementare; *g, k*, allungamento residuo.

G. Guerrini — Sulla funzione dei muscoli degenerati.

G. Guerrini — Sulla funzione dei muscoli degenerati.